



Faculté des Sciences et de Génie
Département de génie civil et de génie des eaux
Cité Universitaire
Québec, Canada G1V 0A6

Département de Génie des Procédés et Environnement
135 Avenue de Rangueil
31077 Toulouse, France

RAPPORT DE STAGE 4A GPE INSA TOULOUSE

Lucile DIJOUD

Projet mon*EAU* du groupe model*EAU*

Installation, entretien et utilisation de deux stations de mesure de la qualité de l'eau en rivière.



Stage de douze semaines réalisé entre le 20/07/2011 et le 10/09/2011

Tuteur à l'INSA Toulouse : M. Alain LINE
Maitre de Stage à l'Université Laval : M. Peter VANROLLEGHEM

Résumé

Les changements climatiques et leurs impacts sur l'Environnement sont nettement observables sur la globalité de la planète. La communauté scientifique internationale a pour objectif d'étudier et de caractériser ces transformations en vue de trouver des solutions constructives. En plus de ces changements de climat, les activités humaines ont tendance à augmenter les concentrations en polluants en milieu naturel, et à accroitre notamment la pollution des eaux. Dans ce contexte environnemental, le projet mon*EAU* à l'Université Laval (Québec, Canada) s'intéresse à la qualité des eaux de rivières en milieu urbain. Deux stations de mesure en continu ont été installées et sont entretenues régulièrement, pour permettre à une batterie de capteurs d'évaluer la qualité de l'eau d'une rivière.

Dans les pages suivantes sera présenté l'ensemble des activités du groupe mon*EAU* auxquelles j'ai participé lors d'un stage de 12 semaines. En tenant compte de nombreux évènements perturbateurs et inattendus, l'équipe s'est mobilisée pour assurer le bon fonctionnement des stations de mesure. Des campagnes d'échantillonnage ont été menées, suivies par des tests d'analyse au Laboratoire de Génie des Eaux de l'Université Laval. En parallèle, un travail de traitement des données grâce à un outil informatique (programme Matlab) a été réalisé.

Mots clés : Calibration, capteurs, détection des erreurs, lissage des données, station de mesure automatisée, tests en laboratoire.

Remerciements

Je remercie tout d'abord Peter Vanrolleghem pour son accueil et sa confiance lors de mon stage au sein du groupe model*EAU* de l'Université Laval à Québec. Les réunions hebdomadaires sous sa direction m'ont permis de bien évaluer le fonctionnement d'une équipe de recherche à dimension internationale. Un grand merci également à l'ensemble des membres de mon projet : Pierre Luc Tremblay, Vanessa Boudreau, Janelcy Alferes, Pascal Poirier et Sylvie Leduc pour leurs conseils. Ce fut un plaisir de travailler efficacement avec eux.

Je tiens à saluer l'équipe du laboratoire de Recherche du Génie des Eaux de l'Université Laval et en particulier Michel Bisping, pour sa disponibilité et la mise à disposition d'installations de très bonne qualité.

Par ailleurs je remercie l'IINSA Toulouse pour son aide financière à la mobilité au Canada, et mon tuteur au Département de Génie des Procédés et Environnement M. Alain Liné pour son suivi tout au long de l'été 2011.

Je présente également mes remerciements à la Région Midi Pyrénées pour son soutien financier qui fut déterminant lors de la concrétisation de mon projet de stage à l'étranger.

Sommaire

Présentation du lieu de stage

A. L'Université Laval

L'Université Laval de Québec au Canada, fut lors de sa création en 1852 la première université francophone américaine. Située au cœur de la Capitale Québécoise, elle regroupe aujourd'hui plus de 384 programmes d'études coordonnés par plus de 2500 professeurs et chargés de cours. Elle accueille chaque année près de 45 000 étudiants. Forte de son ancienneté et de sa réputation, l'Université Laval bénéficie d'un réseau conséquent de 240 000 diplômés dans le monde.

L'Université Laval représente également un milieu de recherche riche de ses 257 regroupements de chercheurs et chaires, et plus de 10 000 étudiants inscrits aux cycles supérieurs. Elle est d'ailleurs classée parmi les dix plus grandes universités de recherche au Canada. Les fonds destinés à la recherche s'élèvent à environ 280 millions de dollars.

B. Le Laboratoire de Recherche model*EAU*

model*EAU* est un groupe de Recherche rattaché au département de Génie Civil et de Génie des Eaux de l'Université Laval. model*EAU* s'articule autour de la Chaire de Recherche du Canada en Modélisation de la Qualité de l'Eau. On retrouve à sa direction depuis 2006, le professeur Peter Vanrolleghem qui coordonne l'ensemble des projets du groupe dont mon*EAU*.
Des étudiants à la maitrise, en doctorat, des professionnels de recherche et des stagiaires internationaux travaillent ensemble à l'optimisation de systèmes d'évaluation de la qualité de l'eau, la modélisation du traitement des eaux usées, et de nombreux autres projets. Un des objectifs principal de model*EAU* étant l'amélioration des approches de modélisation et le traitement des données recueillies.

C. Le Projet mon*EAU*

Le projet mon*EAU* regroupe actuellement Peter Vanrolleghem, Pascal Poirier, Janelcy Alferes, Vanessa Boudreau, Sylvie Leduc, Pierre Luc Tremblay et moi-même, Lucile Dijoud. Cette équipe travaille sur deux stations de monitoring en temps réel de la qualité de l'eau sur la rivière « Notre Dame » située à L'Ancienne-Lorette (Québec, Canada). Les travaux de recherche se sont jusqu'alors focalisés sur les évènements de pluie. En effet les paramètres étudiés varient significativement lors des épisodes pluvieux.

Les stations de mesure sont situées respectivement en amont et en aval d'un quartier résidentiel, ce qui permet d'évaluer l'influence de ce dernier sur la qualité de l'eau de la rivière. Depuis 2010, l'équipe a été chargée d'installer, d'entretenir et de veiller au bon fonctionnement des stations. La calibration des capteurs et des campagnes d'échantillonnage et d'analyse ont été effectuées.
Par ailleurs, un programme de traitement des données recueillies par les capteurs a été créé et est aujourd'hui en phase d'amélioration. Le lissage et la détection des erreurs au sein des données y sont notamment réalisés.

Dans le futur, le développement de ces stations est souhaitable au Canada, mais aussi à l'Internationale pour d'autres activités de recherche, ou des collectivités et entreprises.

Introduction générale

Pour effectuer mon stage de trois mois durant l'été 2011, j'ai eu la chance d'intégrer l'équipe de recherche internationale model*EAU*, et d'être un membre actif du projet mon*EAU*.
A l'heure actuelle les problématiques environnementales et en particulier celles liées à l'eau sont une préoccupation mondiale. Les eaux des rivières subissent de multiples pollutions, notamment par ruissellement des terres agricoles traitées, les rejets de sites industriels, et le déversement d'eaux usées en milieu urbain. Le projet mon*EAU* se focalise sur l'étude en continu de la qualité des eaux de rivières, par l'intermédiaire de stations de mesure automatisées. Pour l'instant deux stations fonctionnent aux environs de Québec (Canada), mais ces installations pourraient se multiplier dans un futur proche.

Ce rapport présente le projet mon*EAU* dans sa globalité et plus précisément mes activités au sein du groupe de recherche. Dans un premier temps les missions d'installation et d'entretien des deux stations de mesure sur le site de la rivière Saint Charles à l'Ancienne Lorette (Québec, Canada) seront décrites. Ensuite les campagnes d'échantillonnage en temps de pluie et les analyses en laboratoire associées feront l'objet d'une étude détaillée. Finalement, le programme d'analyse des données récoltées par la station et les tests effectués seront présentés.

Objectifs :

Dès ma prise de contact avec le professeur Peter Vanrolleghem, j'ai manifesté mon intérêt pour le projet mon*EAU*. En effet les stations de mesure à visée plutôt expérimentale aujourd'hui, ont des débouchés multiples (recherche, collectivités, industrie,…) et internationaux.
Ma participation à mon*EAU*, s'est traduite par une implication sur l'ensemble du projet : de la planification initiale de l'installation d'une station à l'étude des données récoltées par les capteurs.
Ainsi, mes objectifs globaux au cours de l'été 2011 ont été les suivants :

- Installer une seconde station de mesure de la qualité de l'eau
- Entretenir les deux stations de façon hebdomadaire
- Effectuer des campagnes d'échantillonnage par temps de pluie
- Réaliser des tests sur les échantillons au Laboratoire de Génie de Eaux
- Travailler sur un programme Matlab d'analyse des données



I. Stations de mesure de la qualité de l'eau d'une rivière

A. Contexte

Le projet mon*EAU* a vu le jour en 2006 avec les travaux de L. Rieger et P.A Vanrolleghem. Sa réalisation pratique a débuté en 200 avec Pascal Poirier, étudiant à la maitrise à L'Université Laval. Durant l'été 2010, une série d'échantillons a été prélevée sur une première station de mesure de la qualité de l'eau sur la rivière Notre Dame à L'Ancienne-Lorette (Québec, Canada). Les capteurs ont été calibrés et les données prélevées furent traitées statistiquement.

Une station de mesure de la qualité de l'eau se compose d'une cage métallique profilée submergée possédant six capteurs : l'ammolyser(ammonium, pH, température, potassium), le pHmètre, le conductimètre, le spectrolyser (nitrates NO_3-N, turbidité), la LDO et le solitax (turbidité). Chacun des capteurs est relié à la station informatisée sur le rivage. La station est elle-même protégée par des grilles cadenassées et un toit solidement fixé. Sur le rivage, un peu espacé de la station, se trouve également un débitmètre nommé Sigma950, qui indique le niveau d'eau de la rivière, et la vitesse d'écoulement.

L'aspect sécuritaire de la station de mesure a été l'une des priorités pendant mon stage car deux vols de matériel sont survenus. Le premier fut le renversement des grilles de la station avec usurpation du compresseur et le second la détérioration avec vol du câble qui alimente la station en électricité. Chaque fois, ces évènements indépendants de notre volonté ont été dommageables au travail de l'équipe car il a fallu réagir vite pour sécuriser les stations, acheter du matériel neuf, l'installer, et faire des rapports à la police. De plus, durant ces périodes, les mesures ont été interrompues, ce qui a causé la perte de nombreuses donnés.





B. Installation d'une station

A mon arrivée dans l'équipe mon*EAU*, une première station était déjà en fonctionnement en bord de rivière. Un second site avait été sélectionné pour installer une nouvelle station. Notre équipe a donc effectué de nombreux achats de matériel dans des magasins spécialisés, et des commandes de pièces spécifiques. Du fait de la lenteur de l'administration de l'Université Laval en été, ces démarches ont été assez laborieuses parfois et furent la source de retards dans l'installation de la seconde station.

La calibration des capteurs est une étape primordiale qui assure l'obtention de données exploitables. Pour chaque capteur, les membres de l'équipe ont été chargés de rédiger des SOPs (Standard Operating Procedure).
Pour ma part, j'ai étudié le conductimètre et l'ammolyser, en me basant sur le manuel d'utilisateur du fabricant et les notes de Pascal Poirier, anciennement responsable du projet MonEAU. Au cours de l'été 2011, ces SOPs ont été mis à jour et améliorés grâce à l'expérience acquise et aux observations faites sur le terrain. A l'avenir, ils permettront aux utilisateurs de la station de calibrer plus facilement les capteurs selon une procédure standardisée.

Suite aux deux vols dans la première station (d'un compresseur et d'un cable électrique) notre équipe a dû faire preuve de réactivité pour sécuriser rapidement et efficacement les stations. Dans le premier cas nous avons opté pour l'achat des chaines métalliques épaisses, de cadenas et de piquets, afin de fixer solidement les grilles de la station au sol.
Dans le second cas, plusieurs options ont été envisagées, comme l'achat d'un tube protecteur « anti-coupe » autour des cables électriques ou l'installation d'un générateur électrique dans la station. Finalement, ces options n'étaient pas suffisantes pour assurer un fonctionnement continu des stations. L'équipe a donc racheté un nouveau cable éléctrique et a pris soin de l'enterrer sur plusieurs mètres dans la forêt pour éviter les vols. La sécurité a une fois de plus été renforcée avec l'achat d'une caméra de surveillance « de chasse » disuasive qui détecte les mouvements, photographie avec un flash et enregistre des vidéos. L'ensemble de ces mesures de sécurité a été appliqué à la seconde station également.





Un inventaire des éléments présents dans les stations a été réalisé et actualisé au cours de mon stage. Il permet d'évaluer l'avancement de l'installation et le bon fonctionnement (nettoyage et calibration) des capteurs principalement. Durant mon séjour, les capteurs ont également été nommés pour faciliter l'identification, et j'ai installé des étiquettes imperméables à l'intérieur de la cage et dans le poste informatisé de la station.

Sensors	Unique Tag	Installed	Calibrated	Cleaned (at least once)
pH	pH_001	X	X	X
Conductivity	Conductivity_001	X	X	X
Flowmeter	/			
bubbler sensor	/	X	X	
velocity sensor	/			
		X		X
Ammo::lyser	Ammolyser_001	X		X
Spectro::lyser	Spectrolyser_001	X		X
LDO	LDO_001	X	X	X
Turbidity	Solitax_001	X		X
	Solitax_002	X		X

Material	
Compressor	Yes
Automatic valve	?
Security Box for compressor	Yes
Security Box for sigma 950	Yes
New BaseStation software	Yes
Acid for cleaning	Yes
Plastic box	Yes
Labels for cables and sensors	Yes

Figure 1 : Inventaire du matériel présent à la station 1

C. Entretien de deux stations

Les capteurs sont protégés des débris par la cage métallique que nous avons pris soin de nettoyer régulièrement (plusieurs fois par semaine) et un système de nettoyage automatique est en place pour les capteurs les plus sensibles à l'encrassement. Ce nettoyage se fait par l'intermédiaire d'un compresseur qui envoie à intervalle régulier de l'air par un tube ajusté proche des lentilles. Les autres capteurs sont nettoyés manuellement de manière hebdomadaire. Pierre Luc Tremblay et moi-même étions chargés de cette tâche.

Notre travail consistait à enlever les branchages et débris de la cage, à nettoyer à l'eau distillée et/ou à l'acide les lentilles des capteurs et à veiller à leur placement correct dans la cage. Le démontage des grilles de maintien des capteurs était systématique pour optimiser le nettoyage. Nous avons constaté que l'encrassement était visible sur le corps des capteurs, mais que les lentilles s'encrassaient relativement peu. A l'intérieur de la cage, a eu lieu un phénomène de sédimentation important qui a posé problème pour les mesures de conductivité, car le capteur correspondant était au contact du sable régulièrement. Lors de nos visites hebdomadaires, nous prenions donc soin d'aplanir le sol pour éviter l'accumulation de sédiments.



D. Calibration du débitmètre Sigma 950

Au centre d'expérimentations hydrauliques du Département de Génie Civil et de Génie des eaux, j'ai participé à la calibration de l'appareil de mesure Sigma 950. La procédure consiste à placer un débitmètre dans la conduite d'eau rectangulaire, et de relever une hauteur d'eau associée dans la salle des réacteurs. En associant cette hauteur à une courbe spécifique, le débit correspondant est lu graphiquement. Il s'agit finalement de vérifier la similarité entre le débit mesuré et celui affiché par le Sigma 950. Dans notre cas, les valeurs correspondaient et l'appareil sera utilisé dans les stations de mesure de la qualité de l'eau.



II. Campagnes d'échantillonnage et d'analyse

A. Le fonctionnement au sein du Laboratoire de Génie de Eaux

Le département de Génie civil et de Génie des Eaux possède son propre Laboratoire, qui regroupe les activités de plusieurs professeurs et leurs étudiants. Avant d'entamer la moindre manipulation, il est obligatoire de participer à une visite complète du laboratoire en compagnie de Michel Bisping, où l'ensemble des règles de sécurité et des attitudes à adopter en cas de problème sont explicitées. Par la suite, la participation à une formation SIMDUT (Système d'Information sur les Matières Dangereuses Utilisées au Travail) est obligatoire, pour la sécurité de chacun.
Cet aspect sécuritaire est extrêmement présent et indispensable dans un laboratoire où les manipulations sont quotidiennes et effectuées par des étudiants de formations très différentes.
Les protections individuelles comme la blouse, les lunettes et les gants sont obligatoires, et disponibles en grande quantité. L'accent est mis sur l'étiquetage et le rangement des échantillons, béchers et autres, du fait du grand nombre d'intervenants dans le laboratoire.
Lors de mon stage, un « grand nettoyage » a été effectué collectivement dans le laboratoire, pour faciliter l'organisation et l'ergonomie générale.
Une fois par mois, l'ensemble des utilisateurs du Laboratoire de Génie des Eaux se réunit pour discuter et mettre en avant les difficultés rencontrées. Cette rencontre est aussi l'occasion de mieux connaitre ses collègues et les projets sur lesquels ils travaillent.

Des professionnels de recherche, dont Sylvie Leduc pour le projet mon*EAU*, encadrent les activités en Laboratoire et sont chargés des commandes de matériel. Pour ma part, il a fallu commander des filtres et des tests de nitrates pour effectuer les analyses des échantillons.

La mise en place des analyses se fait avec l'aide des SOPs qui décrivent précisément le matériel nécessaire, les étapes des manipulations et la pertinence des résultats.



B. Echantillonnage par temps de pluie

Les campagnes d'échantillonnage ont été effectuées par temps de pluie, à raison d'une fois par semaine en moyenne entre Juillet et Aout 2011 (sauf lors des périodes de vols de matériel). L'intérêt de l'étude des temps de pluie est d'observer des variations importantes des valeurs des paramètres mesurés par la station. Ces variations sont notamment observables clairement grâce aux graphiques achevés par le programme Matlab de traitement des données (cf. partie III).
Grace à un suivi quotidien des prévisions météorologiques, Pierre-Luc Tremblay et moi-même planifiions nos déplacements réguliers aux stations. A chaque évènement de pluie considéré nous avons recueilli trois échantillons de 2L dans des bouteilles en plastique, avec 20 minutes d'intervalle entre chaque collecte. Les heures précises d'échantillonnage étaient calquées sur le dispositif automatique d'acquisition et soigneusement relevées pour ensuite comparer les valeurs des tests et des capteurs. Les échantillons sont conservés pendant 24h en chambre froide à 4°C, pour effectuer les tests efficacement.

Un cas particulier d'échantillonnage par temps sec a été réalisé pour vérifier le bon fonctionnement des capteurs et la performance des calibrations.



C. Test MES

Dans l'étude de la qualité d'une eau de rivière, il est important de quantifier les MES (Matières En Suspension) présentes. Ces solides en suspension dans l'eau sont d'origine à la fois organique et minérale, et proviennent d'effluents industriels, agricoles, municipaux, d'écoulements naturels et de retombées de particules de l'atmosphère.

Lors des tests effectués au Laboratoire de Génie des eaux, la quantification des MES en mg/L a été réalisée par filtration des échantillons sur des filtres de diamètre de pores de 0,45 µm (en moyenne). Des triplicatas et un blanc ont systématiquement été réalisés pour chacun des échantillons.

Une étape préalable de conditionnement des filtres à l'eau est nécessaire. Ces filtres conditionnés de masse M0 (en mg) sont ensuite stockés dans des boites Tupperware pour un usage futur. J'ai personnellement veillé au conditionnement et à la gestion de la quantité de filtres à préparer à l'avance. La concentration de particules retenues sur les filtres de masse M1 (en mg) chauffés à 105°C pendant 2h et séchés au dessiccateur pendant 30 minutes, est calculé grâce à la formule suivante :

$$C= ((M1-M0)*1000)/V$$

Avec V le volume filtré (toujours égal à 200mL dans le cas étudié), et C la concentration en MES en mg/L. En fonction du blanc la formule peut être ajustée.
J'ai pris en charge la réalisation d'un fichier Excel global regroupant l'ensemble des résultats expérimentaux effectués pendant l'été 2011. Ci-dessous un extrait du tableau de résultats du test MES, avec un ordre de grandeur des résultats obtenus par temps de pluie pour un échantillon.

Echantillon	**Echantillon**	**Nacelle**	**conditionnement**	**Filtration**	**Volume filtré**	**MES**	**MES moy**
nom station	**nom labo**	**numero**	**M0 (g)**	**M1 (g)**	**V(mL)**	**C(mg/L)**	**C (mg/L)**
blanc	1O (blanc)	2A	1,1463	1,1448	200	-7,5	
sample 1 1:40pm 26.07.11	1A	A6	1,1151	1,1191	200	20	19
sample 1 1:40pm 26.07.11	1B	A8	1,0735	1,0769	200	17	19
sample 1 1:40pm 26.07.11	1C	A9	1,0783	1,0823	200	20	19





D. Test DCO

Afin d'évaluer la charge polluante de l'eau de rivière, la détermination de la DCO (Demande Chimique en Oxygène) est nécessaire. Cette DCO correspond à la consommation en oxygène de l'eau dans le but d'oxyder les substances organiques et minérales qu'elle contient.
Pour le projet mon*EAU*, nous avons utilisé une solution digestive « low range » (de 0 à 150 mg/L) de dichromate de potassium. Cette solution était directement fournie dans des tubes de 2mL prêts à l'emploi HACH.

Comme pour les MES, un blanc et des triplicatas sont réalisés pour chaque échantillon.
Après homogénéisation de l'échantillon, 2mL de celui-ci sont introduits dans le tube HACH (Digestion Solution for COD 3-150 ppm Range, Cat 21258-15). Un processus de chauffage à reflux pendant 2h à 150°C puis de refroidissement pendant 30 min dans le noir, et de décantation après agitation pendant 30 minutes dans le noir également, est effectué.

Finalement une mesure par colorimétrie au spectrophotomètre est faite par lecture de la valeur de la longueur d'onde correspondant au degré d'oxydation du mélange préparé. Le programme d'analyse du spectrophotomètre est préenregistré et uniquement calibré manuellement par le blanc pour faire le zéro. En « low range », la longueur d'onde correspondant à la mesure de la génération d'ions chrome se situe vers 420nm.

Ci-dessous un extrait du tableau de résultats du test DCO, avec un ordre de grandeur des résultats obtenus par temps de pluie pour un échantillon.

Echantillon	Echantillon	DCO	DCO moy
nom station	**nom labo**	**mgO2/L**	**mgO2/L**
sample 1 1:40pm 26.07.11	1A	24	29,00
sample 1 1:40pm 26.07.11	1B	30	29,00
sample 1 1:40pm 26.07.11	1C	33	29,00



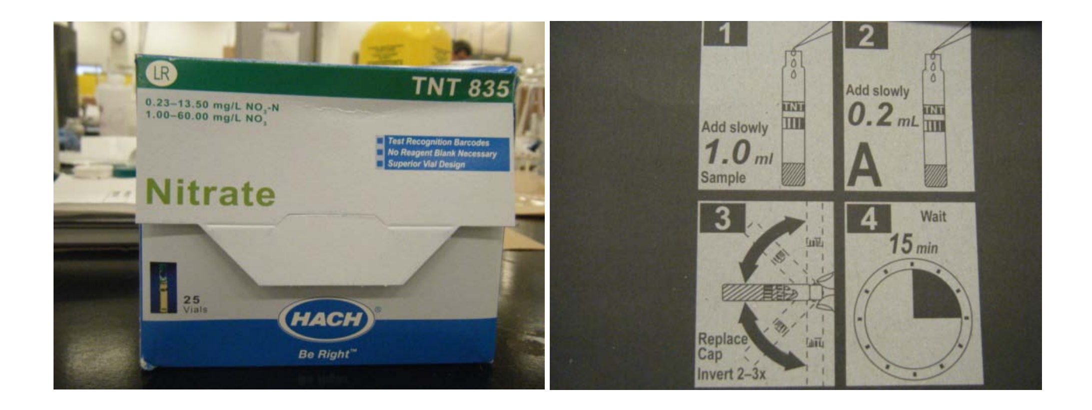
E. Test Nitrates

Connaitre la concentration en nitrates d'une eau permet d'évaluer sa potabilité éventuelle et son degré de pollution, notamment agricole. Une forte concentration de nitrates (seuils de 50mg NO_3/L en France et 25mg NO_3/L pour l'OMS pour la potabilité) est toxique pour les humains, mais aussi pour la faune marine. Un suivi régulier de ce paramètre est donc pertinent.

Le test Nitrates est relativement simple car il s'agit d'un kit HACH commercial (numéro TNT 835) avec un code barre spécifique pour le spectrophotomètre. Il suffit donc d'introduire 0,2mL d'échantillon et 1mL de réactif dans les tubes HACH, et d'attendre 15 minutes après agitation pour faire la mesure d'UV.

Ci-dessous un extrait du tableau de résultats du test Nitrate, avec un ordre de grandeur des résultats obtenus par temps de pluie pour un échantillon.

Echantillon	Echantillon	Nitrates	Nitrates moy
nom station	**nom labo**	**mg NO_3-N/L**	**mg/L**
sample 1 1:40 26.07.11	1A	1,32	1,35
sample 1 1:40 26.07.11	1B	1,34	1,35
sample 1 1:40 26.07.11	1C	1,39	1,35



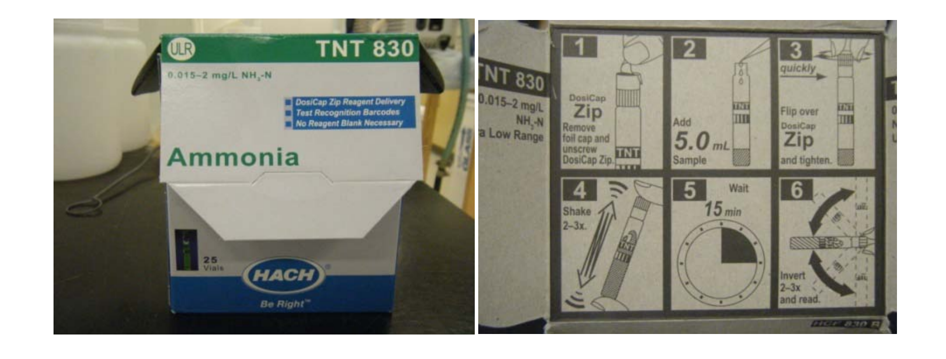
F. Test Potassium

La concentration en Potassium présente dans l'eau de la rivière est évaluée à chaque instant grâce aux capteurs. Un test potassium HACH (Potassium 1 Reagent Powder Pillows Cat. 1432198, Potassium 2 Reagent Solution Pillows Cat.14322-98, et Potassium 3 Reagent Cat. 14323-99) permet de vérifier la qualité de ces valeurs. La concentration en ions potassium K+ est susceptible d'augmenter avec l'usage d'engrais à proximité.



G. Test Ammonium

L'ammonium est présent à fortes concentrations sur les terres agricoles fertilisées. A fort pH, cet élément se transforme en ammoniaque qui est un produit toxique pour la faune aquatique. Le Test Ammonium HACH (numéro TNT 830) permet le suivi de cette concentration, comparativement aux valeurs du capteur Ammolyser.



III. Tests sur un programme de traitement des données des capteurs

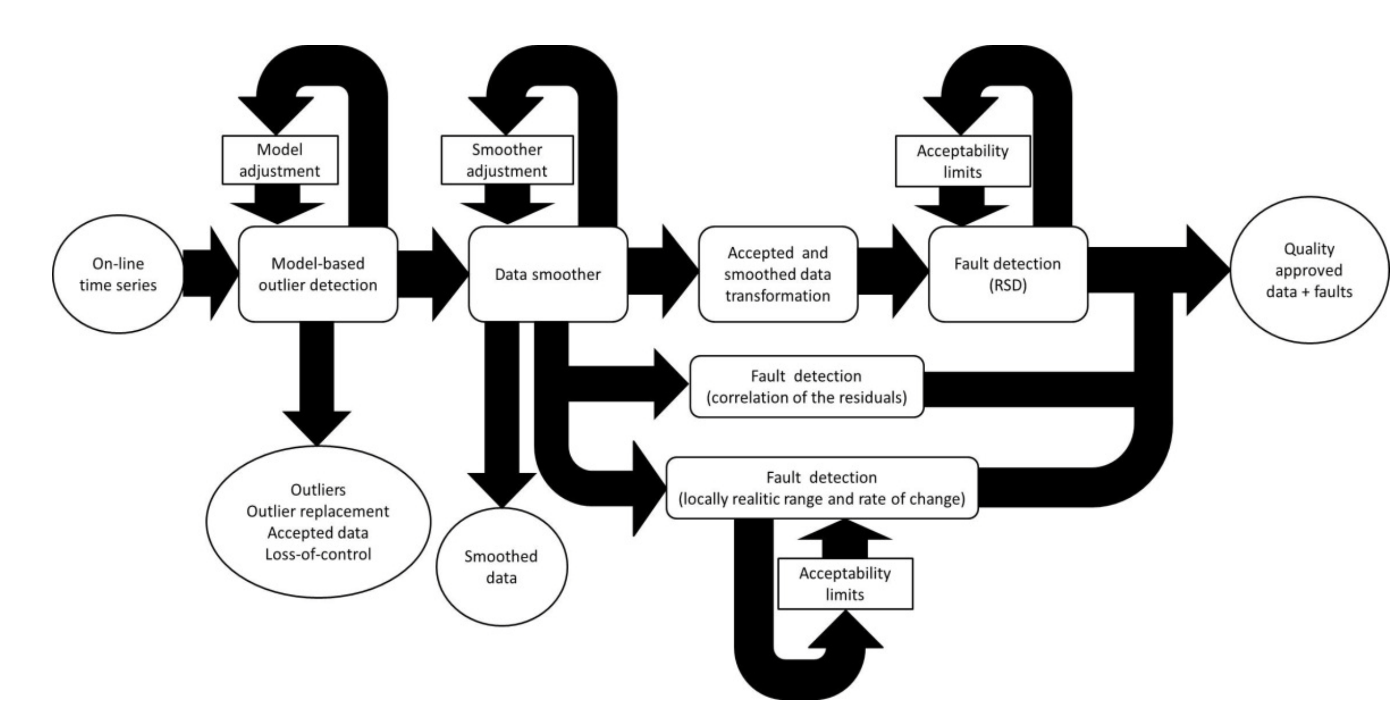


Figure 2 : Schéma de la méthode en ligne du projet mon*EAU*

A. Contexte

Le projet mon*EAU* coordonne des stations automatisées de la mesure de la qualité de l'eau. A l'heure actuelle ces stations permettent d'observer avec une grande précision la qualité des eaux urbaines, notamment lors d'évènements pluvieux. Cependant la quantité d'informations produite est telle qu'elle nécessite l'utilisation d'un outil informatique pour traiter et valider les données. En anglais on utilise le terme de « automatic data quality assessment tools » (ADQATs) pour qualifier le programme utilisé par l'équipe mon*EAU* et mis au point par Pascal Poirier en 2011.

B. Compréhension du code

Le programme de l'équipe mon*EAU* est une méthode en ligne qui permet à la fois la détection des valeurs aberrantes/outliers et le lissage/smoothing des données.
Il se compose de trois parties distinctes. La première vise à caractériser statistiquement les outliers, la seconde à lisser les données automatiquement, et la troisième est une procédure de détection des erreurs pour donner des graphiques exploitables. La détection et le remplacement des outliers sont réalisés grâce à des modèles autorégressifs qui s'apparentent à une méthode d'analyse redondante (Hill and Minsker, 2010).
Dans le programme global, deux courbes sont présentes : celle des valeurs réelles et celles des valeurs prévisibles qui sont calculées par le programme. Le modèle d'analyse utilise l'erreur quadratique.

B1. La détection des valeurs aberrantes

La méthode de détection des valeurs aberrantes consiste à déterminer un intervalle de prédiction (soit des limites inférieures et supérieures) par l'intermédiaire de modèles autorégressifs à variable unique. L'intérêt de ces méthodes est la facilité d'utilisation grâce à l'unique constante (λ_z) qui doit être déterminée pour chaque modèle. Cette méthode de détection des erreurs a été inspirée et est décrite par Montgomery (1990).

La détermination du paramètre λ_z

λ_z est l'unique paramètre du programme global. Le sous programme qui permet de le déterminer, fait en sorte d'obtenir la meilleure valeur possible de λ_z en utilisant une fonction semblable à de la minimisation d'erreur. λ_z est ensuite utilisé pour prédire des valeurs « possibles » par modèle mathématique.
Le paramètre λ_z a toujours une valeur comprise entre 0 et 1. Son programme de détermination, fonctionne avec toutes les valeurs possibles entre 0 et 1, et produit ensuite un graphique qui permet de caractériser la valeur optimale. Ce nombre est déterminé par lecture graphique en relevant sur la courbe finale la valeur correspondant au plus petit RMSE (Figure 3).

La détermination du paramètre λ_{MAD}

Le paramètre λ_{MAD} a pour but de calculer l'écart-type entre les valeurs réelles et prévisibles. Un sous programme similaire à celui déterminant le paramètre λ_z est utilisé et la valeur de λ_{MAD} est connue par lecture graphique pour la plus petite valeur de RMSE associée (Figure 4).

Le calcul des limites inférieures et supérieures et le paramètre nb_s

Les limites inférieures et supérieures délimitent l'intervalle prévisible. Ce dernier est calculé en ajoutant ou soustrayant un nombre fixé (nb_s) d'écart-types de l'erreur prévisible à la valeur prédite.

Le calcul des limites inférieures et supérieures se fait automatiquement et permet de trier les données utilisées. Si le signal est dans l'intervalle il est considéré comme correct, dans le cas contraire il ne l'est pas.
Le paramètre nb_s représente le nombre d'écart-types associé au calcul des limites inférieures et supérieures (par exemple nb_s égal 3). Ce paramètre peut être choisit de manière à rendre le modèle plus ou moins restrictif.

Les données acceptées

Le terme de « données acceptées » correspond aux vraies valeurs sans les valeurs aberrantes. Les valeurs aberrantes étant celles qui dépassent les limites. En cas de présence d'une valeur aberrante, la valeur réelle est remplacée par la valeur prédite par le programme.

Dans le cas particulier où trop de valeurs réelles successives sont remplacées par des valeurs prédites (par exemple lors d'un changement soudain ou d'une pente importante), le programme procède à une réinitialisation car il détecte une perte de contrôle. En effet pour éviter une trop grande perte des données, le système recalcule les paramètres majeurs (les écart-types par exemple) pour un nombre fixé de données précédant l'arrêt du programme pour la réinitialisation.
Cette méthode vise à éviter une utilisation trop importante des données prédites plutôt que des données réelles. L'algorithme est actuellement dans un processus d'amélioration pour l'automatiser et la rendre applicable à des évènements soudains (en particulier par temps de pluie).

B2. Le lissage des données

Le lissage des données est incontournable dans le développement d'une méthode on-line de validation des données. Effectivement le lissage est à l'origine du calcul de paramètres qui caractérisent la qualité des données et leur altération éventuelle (comme le bruit).
Le programme de mon*EAU* utilise l'estimateur kernel de Nadaraya-Watson pour le lissage.

L'Average of moving window/ La moyenne de la fenêtre mobile

Pour lisser les données récoltées il faut appliquer un filtre particulier. Dans le cas de ce programme, on applique une distinction normale avec un intervalle de valeur h égal à la taille de la fenêtre. Cette fenêtre est dite mobile sur les valeurs étudiées (Dochain and Vanrolleghem, 2001).
Pour nos applications, il est souhaitable que la détection de dépendance des résidus soit rapide, soit h fixé à 30.

B3. L'étude finale et les résultats

Le pourcentage forecast/ de valeurs prédites

Ce pourcentage de valeurs prédites doit être le plus petit possible. En effet cet indicateur représente le nombre de valeurs prédites utilisées par le programme à la place des valeurs réelles mesurées.

Le Run Test Value

Cet indicateur permet d'évaluer la qualité du lissage final des données et de vérifier si les résiduels sont bien aléatoires. En effet un run est une séquence de résiduels qui ont le même signe. Ce test indique si le nombre de runs est correct pour valider le fait que les résiduels sont aléatoires.

A. Tests sur les données de l'été 2011

Mon travail sur le programme Matlab du projet mon*EAU* a consisté à tester des données sur le niveau de l'eau dans la rivière au niveau de la station de mesure 1. Les données ont été enregistrées par le débitmètre sigma 950 entre le 15 Juin 2011 et le 19 Juillet 2011.

Avec l'aide de Janelcy Alferes, j'ai étudié minutieusement le code Matlab du programme, pour le comprendre dans son intégralité. Par la suite, j'ai rédigé une « explication » du programme pour mon usage personnel afin de travailler plus rapidement, mais aussi pour les futurs utilisateurs.

La difficulté majeure que nous avons rencontrée a été la mise en forme des données brutes relevées à la station. En effet, dans leur format original sous Excel, les données ne sont pas exploitables par le programme Matlab, qui nécessite une organisation tabulaire (date/heure/donnée) particulière. Janelcy Alferes a donc créé un programme nommé « formatData » qui permet d'utiliser le DrivermonEAU correctement.

Ci-dessous se trouvent les graphiques principaux qui permettent une analyse convenable des données.

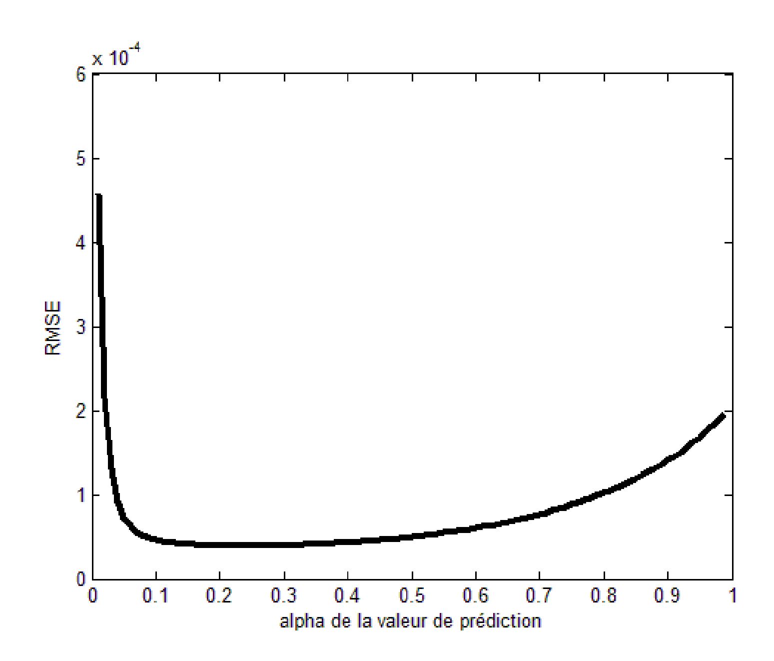


Figure 3: Graphique de détermination du paramètre λ_z optimal

Grace au graphique de la Figure 3, on peut déterminer le paramètre λ_z optimal, à savoir ici : l λ_z =0,1 environ.

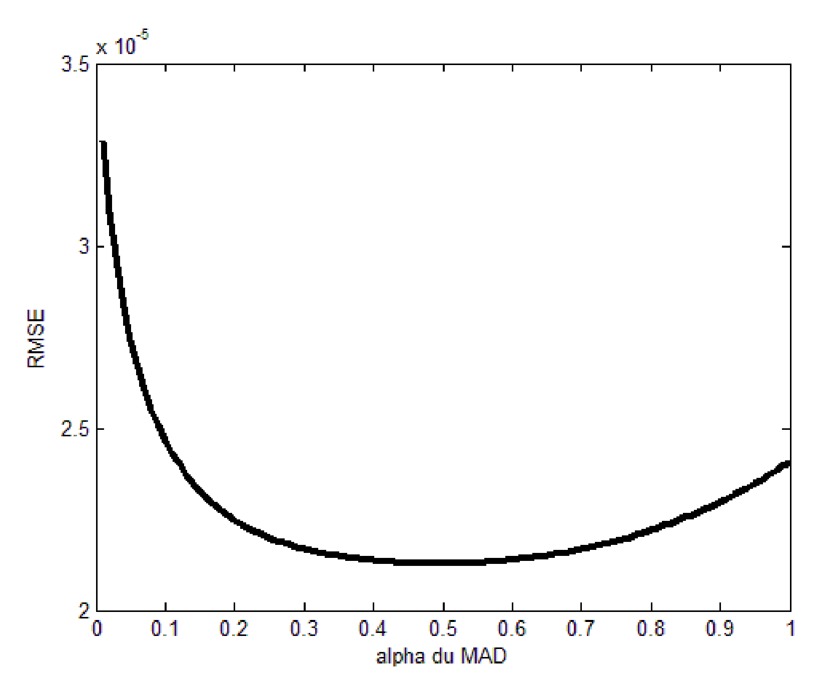


Figure 4: Graphique de détermination du paramètre λ_{MAD} optimal

Toujours dans la même démarche on peut évaluer le paramètre λ_{MAD}, ici égal à environ 0,45.

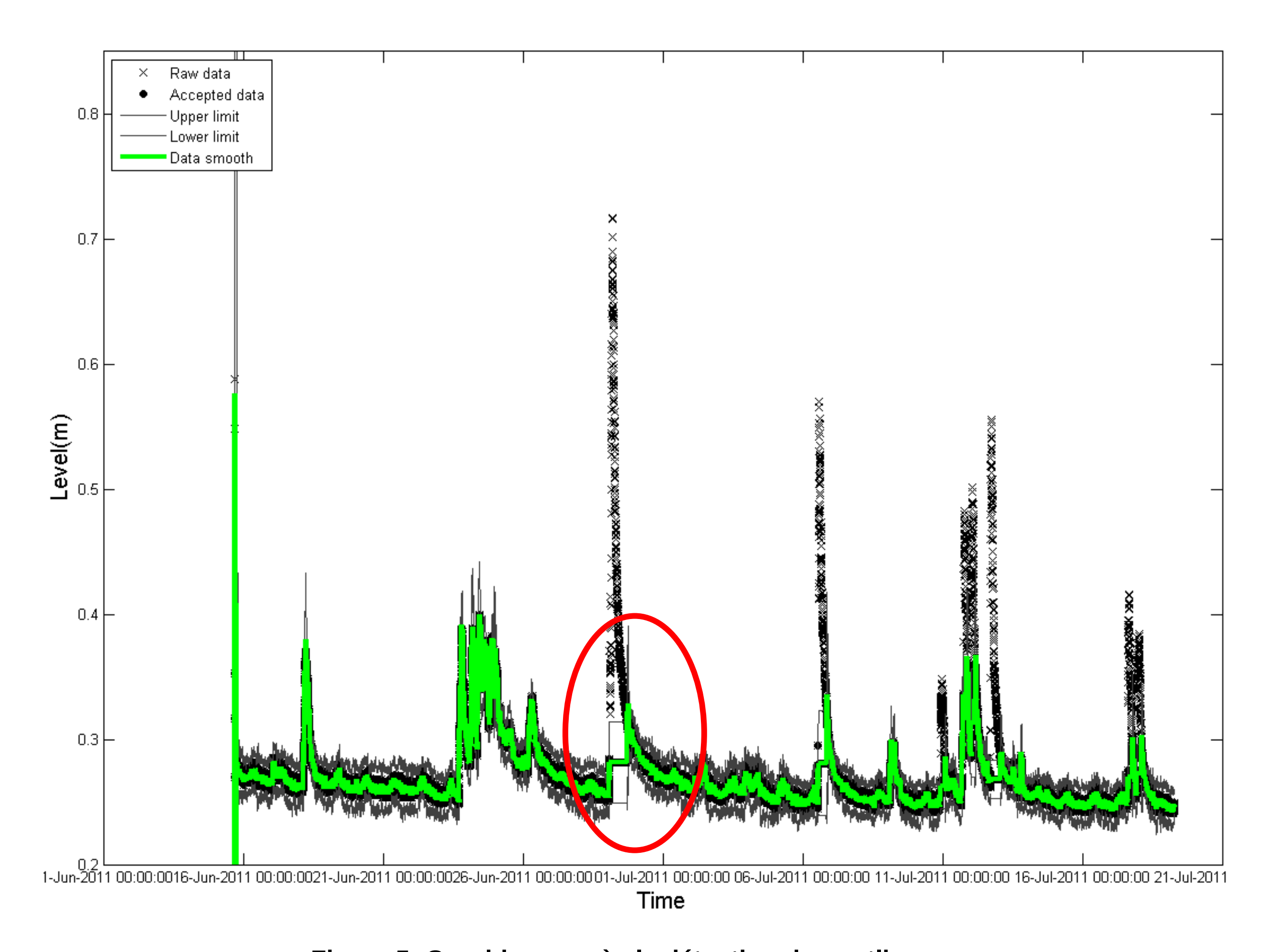


Figure 5: Graphique après la détection des outliers

Le graphique de la Figure 5, montre un premier traitement global des données, où les erreurs ont été détectées. On observe des pics distincts qui correspondent aux évènements de pluie survenus lors de la période du 15/06/2011 au 19/07/2011.

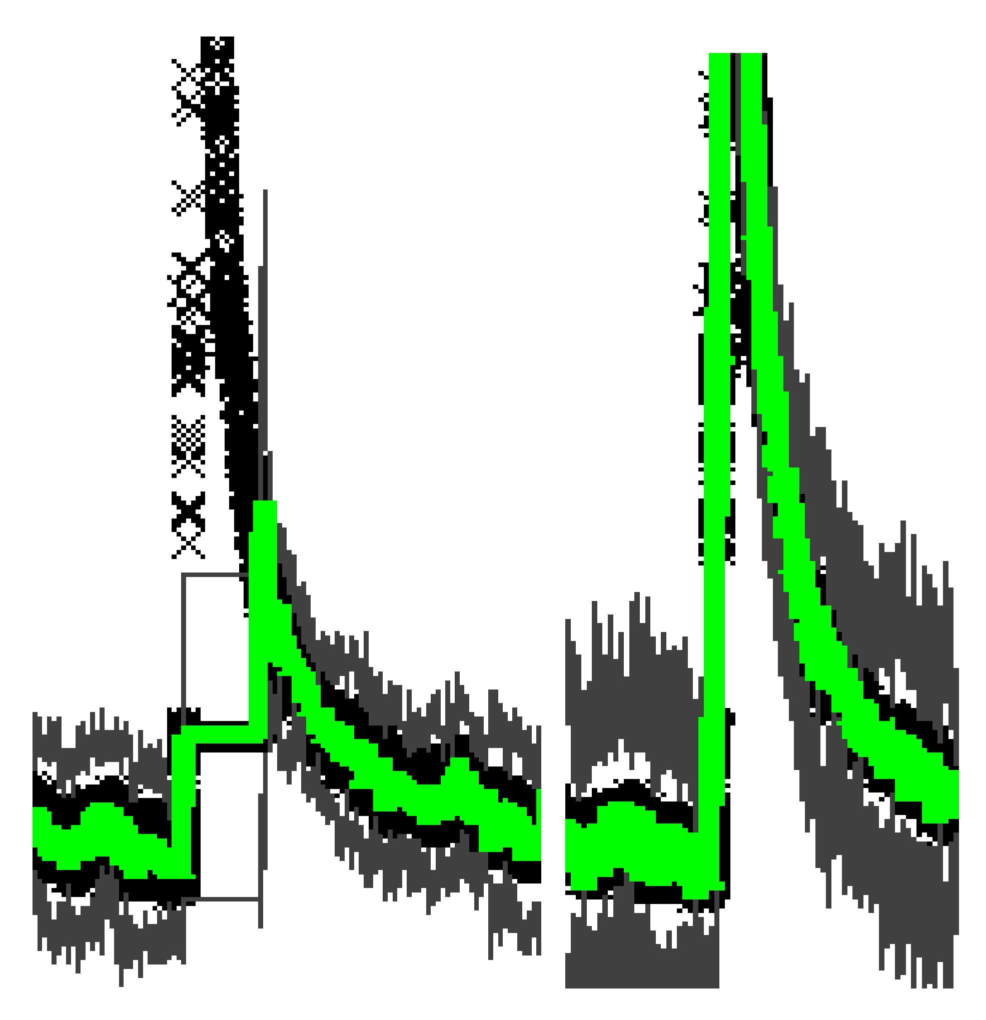


Figure 6 : Comparaison des données lors d'une perte de controle

Dans le cercle rouge de la Figure 5 (agrandissement Figure 6), est mis en évidence le phénomène de perte de contrôle. Cette perte de contrôle déjà décrite précédemment apparait lors d'un changement brutal dans les données, comme cela est le cas lors d'un évènement de pluie. Grace au traitement des données par le DrivermonEAU avec un « retour en arrière » sur les valeurs concernées par la perte de contrôle, les données correspondant à des variations brusques peuvent être prises en compte, comme l'illustre la Figure 6. A gauche de la figure 6 se trouve un agrandissement de la figure 5 (lors de la détection des outliers), et à droite on peut observer un agrandissement de la figure 7 (après traitement des données par le DrivermonEAU).

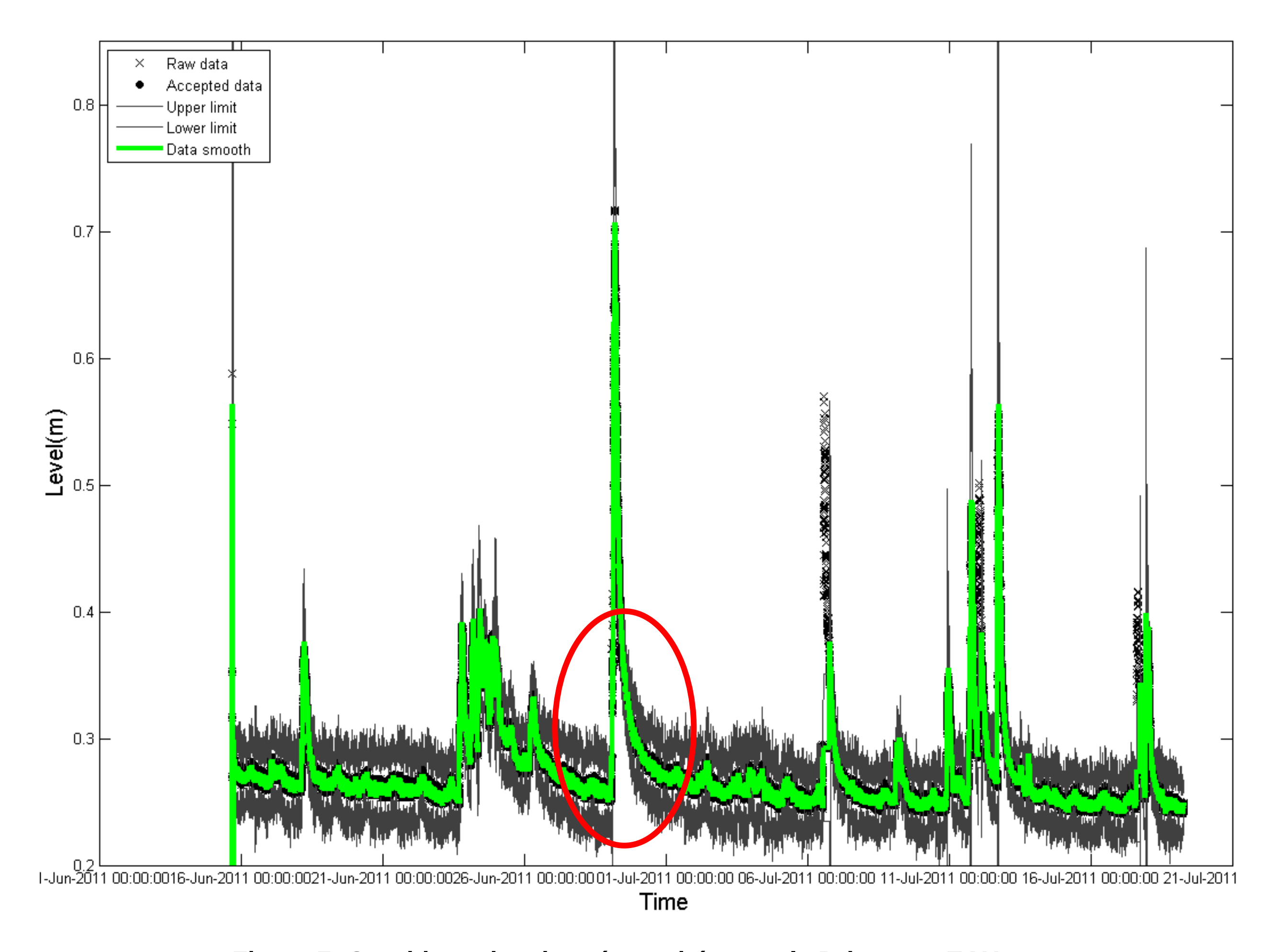


Figure 7: Graphique des données traitées par le DrivermonEAU

Le DrivermonEAU permet l'amélioration du traitement des données. En effet, le bruit est diminué et les valeurs pertinentes sont soulignées entre les intervalles limites. Ainsi, les évènements de pluie sont mieux caractérisables et leur étude est plus pertinente notamment en vue de publication dans des revues scientifiques. L'analyse des données apporte une crédibilité supplémentaire.

Dans le futur, il est envisageable de jouer sur les paramètres comme nb_s, et h pour mieux comprendre leur influence et valider les valeurs actuellement utilisées.

Conclusion générale

Les activités humaines comme l'agriculture, l'industrie et les villes, interfèrent de plus en plus avec les milieux naturels. De nombreuses pollutions potentiellement dangereuses pour la faune marine, et les humains, sont déversées dans les rivières. Dans une étude de la qualité de l'eau, il est primordial de quantifier ces concentrations en polluants, pour établir des normes et réagir en cas de concentrations nocives aux organismes et à l'Environnement. Dans cette optique, le projet mon*EAU* assure l'installation et l'entretien de stations de mesure de la qualité de l'eau de rivières proches de Québec (Canada). L'équipe se charge également de l'analyse et de la modélisation des données relevées par les capteurs.

Comme il a été énoncé dans ce rapport, les activités liées au projet mon*EAU* sont multiples et nécessitent des compétences multidisciplinaires. Effectivement, j'ai effectué un travail très technique sur le terrain en forêt, utilisé mes connaissances en chimie lors des tests en laboratoire, et réalisé de la modélisation information pendant l'étude du programme Matlab. Les réunions hebdomadaires et les échanges de mails quotidiens avec les cinq autres membres du projet mon*EAU* ont assuré une communication efficace et favorisé mon intégration à l'équipe. Dans le futur, je veillerai personnellement à être tenue informée de l'avancement du projet et de son élargissement éventuel.

Les Acquis de ce stage

- Intégration rapide à une équipe de Recherche spécialisée
- Capacité à communiquer, écouter, s'organiser et présenter son travail
- Efficacité pour trouver solutions pertinentes et durables
- Réactivité en cas de problème et/ou situation inattendue, et prise de décisions et d'initiatives
- Adaptation à un environnement technique et scientifique nouveau
- Synthétisation et appropriation d'un programme de traitement des données
- Connaissance sur les capteurs, les modes d'acquisitions en temps réel
- Formation SIMDUT à l'Université Laval
- Rédaction de SOPs

Les Améliorations possibles

Bien que satisfaite du déroulement de ce stage et surtout de la diversité des missions qui m'ont été confiées, certains points sont à améliorer.
Pour l'installation de futures stations de mesure, une organisation prévisionnelle globale des taches et leurs attributions à chacun des membres devra être effectuée. Cela permettra de gagner du temps, d'être plus efficace et réactif lors des évènements imprévus qui malheureusement surviennent régulièrement en Recherche.

La fixation de « dead-lines » stables, pourrait également accélérer les activités du projet mon*EAU*.
La communication très active au sein de l'équipe mon*EAU*, pourrait s'étendre à l'ensemble des collaborateurs de l'équipe model*EAU* pour un meilleur partage des activités, du matériel et des installations en commun (laboratoire, aut*EAU*).
Enfin, la transmission du savoir me semble indispensable dans un milieu ou les acteurs se relaient régulièrement. Elle est actuellement en cours d'amélioration, grâce à la rédaction d'inventaires, de SOPs, d'historiques et de listes d'achats (magasins et matériel).

Table des Figures

Glossaire

LDO: Luminescent Dissolved Oxygen

SOP: Standard Operating Procedure

DCO : Demande Chimique en Oxygène

MES : Matière En Suspension

ADQAT: Automatic Data Quality Assessment Tools

Outliers : Valeurs aberrantes

Smoothing: Lissage des données

RMSE: Root Mean Square Error

MAD: Median Absolute Deviation

Bibliographie

Dochain D. and Vanrolleghem P.A. (2001) Dynamical Modelling and Estimation in Wastewater Treatment Processes. IWA Publishing, London, UK. ISBN 1-900222-50-7. pp. 342.

Hill D.J. and Minsker B.S. (2010). *Anomaly detection in streaming environmental sensor data: A data-driven modeling approach.* Environ. Modell, Softw., 25(9), 1014-1022.

ISO 15839 (2003). *Water quality -On-line sensors/analyzing equipment for water -Specifications and performance tests.* Published in Switzerland.

Langeveld J.G. , Schilperoort R.P.S. , Weijers S.R., De Jonge J. , and Flameling T. (2011). *Climate change and urban wastewater infrastructure: There is more to explore*. In Proceeding of the IWA Large Wastewater Treatment Plants (LWWP 2011) Conference in Budapest, Hungary, 5-8 September 2011.

Montgomery D.C. (1990). *Forecasting and Time Series Analysis*. 2^{nd}edn, McGraw-Hill, New York.

Poirier P. and Vanrolleghem P.A. (2011). *Hardware and Software tools to increase data qualiy in automated water quality measuring stations.*Submited to the Automation of Water Quality Monitoring (AutMoNET 2011) Conference in Queretaro, Mexico, 18-21 September 2011

Rieger L. and Vanrolleghem P.A. (2008). *monEAU: A platform for water quality monitoring networks.* Water Sci. Technol., 57(7), 1079-1086.

Thomann M., Rieger L., Frommhold S., Siegrist H. and Gujer W. (2002). *An efficient monitoring concept with control charts for on-line sensors.* Water Sci. Technol., 46(4-5), 107-116.

Vandenberghe V., Goethals P.L.M., van Griensven A., Meirlaen J., De Pauw N., Vanrolleghem P.A. and Bauwens W. (2005). *Application of automated measurement stations for continuous water quality monitoring of the Dender river in Flanders, Belgium*. Environ. Monit. Assess., 108, 85-98.

Table des Annexes

Les annexes se trouvent sur deux fichiers joints à ce rapport.

Cleaning and calibration of the Ammo::lyser Sensor

	RÉALISATION	RÉVISION	APPROBATION
NOM	Lucile Dijoud		
FONCTION	Intern		
DATE	27-06-2011		
SIGNATURE	Lucile Dijoud		

GESTION DES MODIFICATIONS		
RÉVISION	**DATE**	**DESCRIPTION DE LA MODIFICATION**
01	29/08/11	Édition du SOP

Table of contents

1. Introduction

This standard operating procedure (SOP) refers to the sampling process and the calibration of the sensor ammo ::lyser from the company s ::scan. This sensor is connected to the monEAU monitoring station. The SOP untitled *SOP_009_monEAU* edited by Pascal Poirier is a description of the general operating procedure of the whole monEAU station. One may refer to the latter for other details.

2. Application Area

The ammo ::lyser can be used in all kinds of water: surface water (rivers, lakes), ground water, drinking water, waste water (influent, aeration tank, effluent). During the measures, Concentration range of the values is between 0,1 and 1000mg/L of NH4+.

3. Definition and Principle

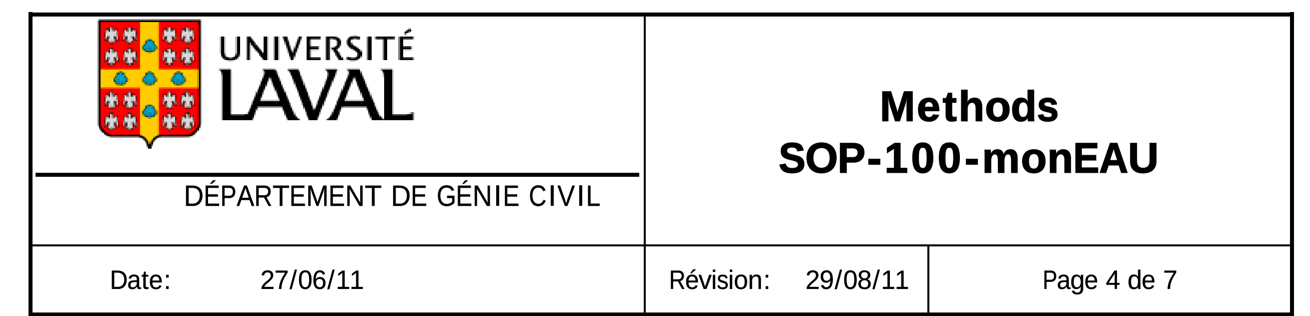
3.1 Definition of the sensor

The ammo::lyser is an ion-selective measuring device designed for the continuous monitoring of the concentration of dissolved ammonium-nitrogen (NH4-N) in water. The temperature of the medium is monitored continuously by the instrument and is used to correct the ammonium concentration accordingly. Optionally, the product is provided with sensors for the measurement of the potassium concentration as well as pH. These values are then used to correct the influence of these parameters on the ammonium concentration.

4. Calibration

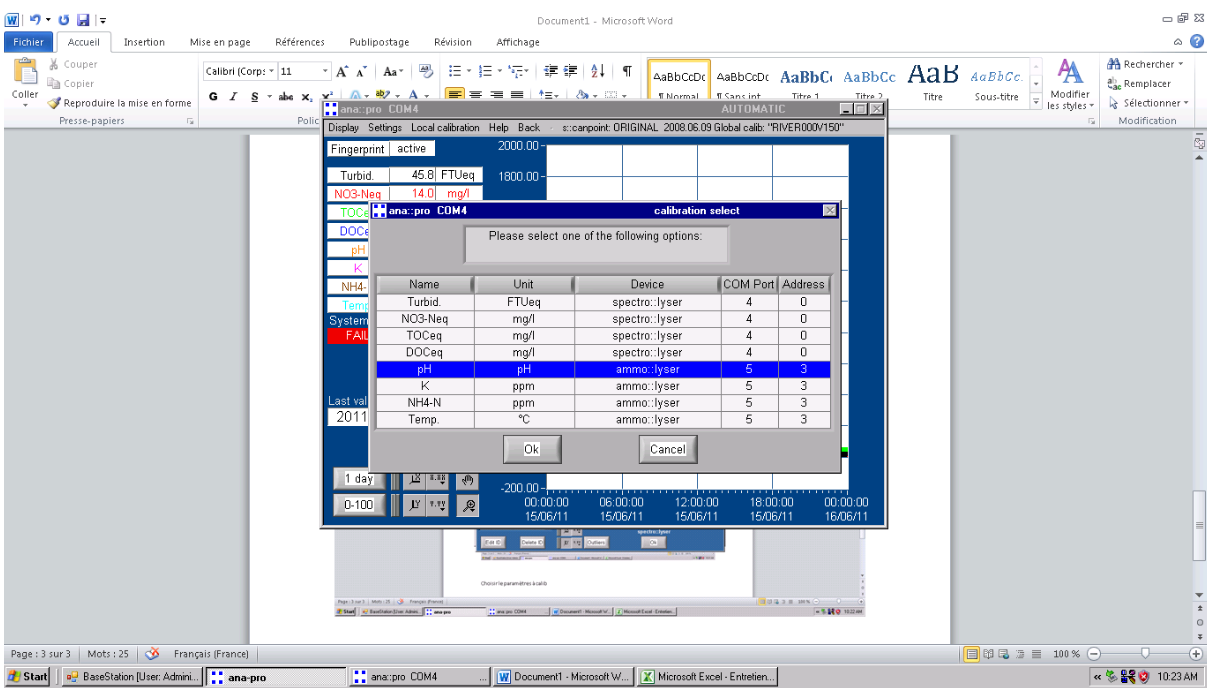
4.1 Calibration during initial operation

Both the temperature and pH sensors are factory calibrated and ready for use without calibration on site. However, in case of insufficient accuracy an offset or 2-point calibration can be used to improve accuracy.
The electrodes for potassium and ammonium have to be calibrated during or after initial operation. A two point calibration is recommended



4.2 General calibration :

Calibration is an essential part in the proper operation of the ammo::lyser. Without calibration, and a periodical check and/or recalibration, the measurement results will not be accurate.

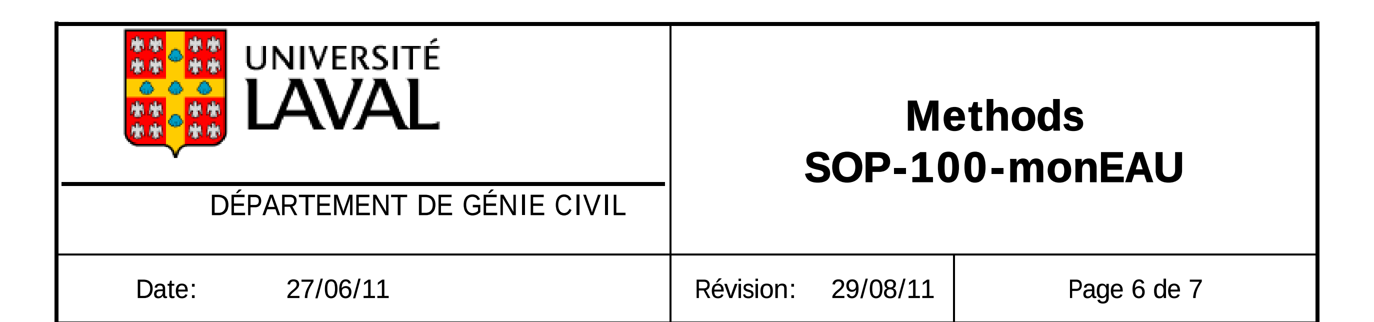


Click on Local calibration and choose a parameter of the ammo ::lyser (See figure 2)

Figure 1

- Choose the calibration type OFFSET, LINEAIR or non lineair. (LINEAIR is suggested)
- Calibrate in the following order : the temperature, the pH, the potassium and the ammonium
- Calibrate the ammo ::lyser temperature with the Hach pH sensor on a pretty large range.

- Then, calibrate the ammo ::lyser pH with the Hach pH on the variation range of the river pH (have a look at the measures data to have an idea of it).
- Calibrate the pH directly on the river, and make sure that the Hach sensor is well calibrated.
- Finally, to calibrate the potassium and ammonium, it is suggested to calibrate with a sample took during a dry weather and during a maximum flux rate peak. Thus, it will include the effects of the water matrix by dry and rainy weather.
- When you want to save a measured value, click on Sample1 or Sample2. The measured signal during the click is now recorded, and it is needed to enter the real corresponding value, namely the temperature, the pH, the potassium or the ammonium.
- So to calibrate the potassium and the ammonium, it is necessary to take a dry weather sample and to click Sample1, and a rainy weather sample and to click on Sample2.
- Finally, click on Calibrate when the real values are enter (see figure 3).



It is important to always right down the date, the hour, the value before calibration, and the value of the standard solution that has been used for calibrate the sensors. You might wait for the values to stabilize before reporting them.

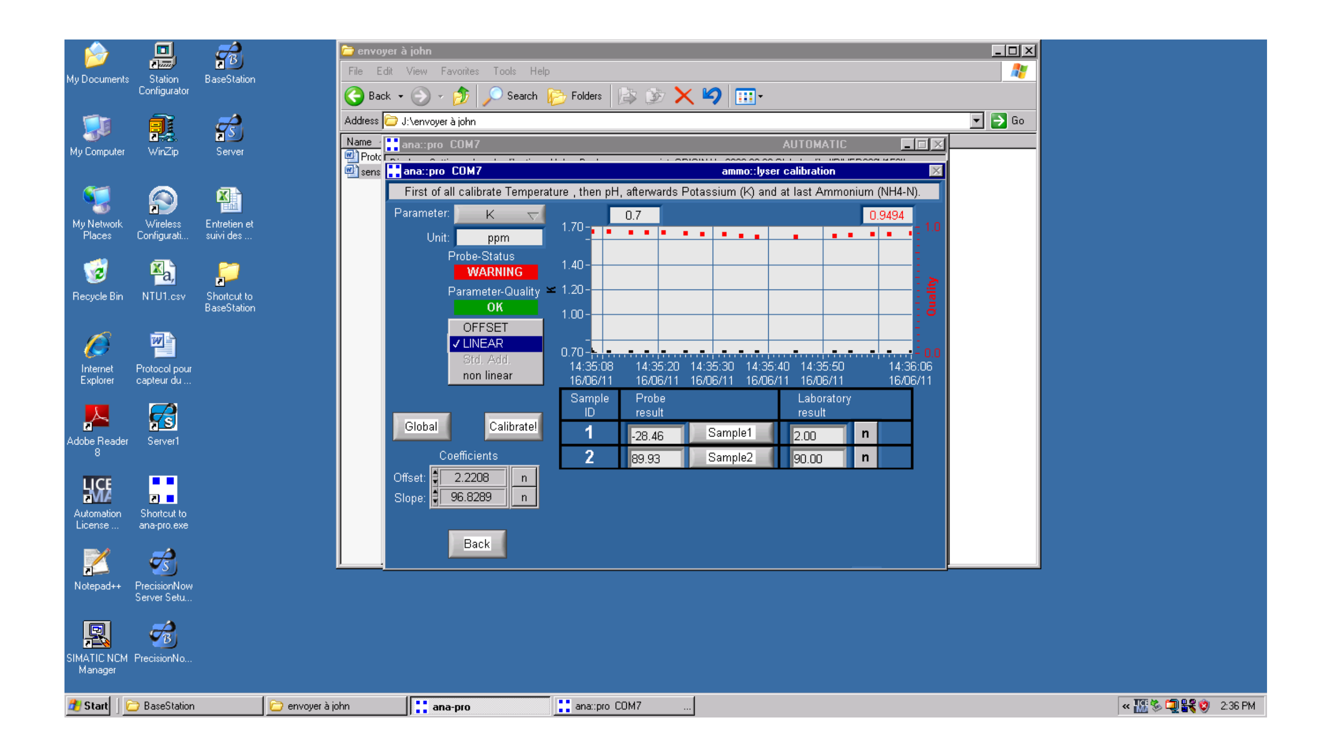


Figure 3

5. Cleaning the sensor

Clean the sensor with a soft, wet cloth and clean water.

The global cleaning process of all the sensors of the monEAU monitoring station is described in the SOP *Cleaning of the monEAU station sensors*.

Frequency of cleaning is determined by the Excel file *Entretien et suivi des capteurs* depending on how the fouling affects the sensors according to 2010 experience in situ. Clean the Ammo::lyser sensor before taking samples. The sensor should be cleaned every two weeks in other cases.

Regarding specific questions on cleaning the Ammo::lyser sensor, one may refer to the instructions available in the user manual and in the cleaning SOP.

6. Références

- SCAN Ammo ::lyser V1 Manual, August 2007.
- POIRIER Pascal, Protocole SCAN, 2011.
- WIPLIEZ Bastien, Méthodes analytiques SOP-013 NH3-N, 03-09-2010.

Cleaning and calibration of the Conductivity Sensor

	RÉALISATION	RÉVISION	APPROBATION
NOM	Lucile Dijoud		
FONCTION	Intern		
DATE	27/06/2011		
SIGNATURE	Lucile Dijoud		

GESTION DES MODIFICATIONS		
RÉVISION	DATE	DESCRIPTION DE LA MODIFICATION
01	29/08/2011	Édition du SOP

Table of contents

1. Introduction

This standard operating procedure (SOP) refers to the sampling process and the calibration of the conductivity sensor. This sensor is connected to the monEAU monitoring station. The SOP untitled *SOP_009_monEAU* edited by Pascal Poirier is a description of the general operating procedure of the whole monEAU station. One may refer to the latter for other details.

2. Application Area

By using the conductivity sensor, the analysis can be done on lacks, rivers, surface water, drinking water, waste water, and so on. A constant electrode-cell of 1cm^{-1} measure the conductivity values between 0,0 and 200,0 ; so between 0 and 2000000 microSiemens/cm. The maximum flux rate is 3m/s. There might be cases where components in suspension or oil can interfere by pollution of the electrode.

3. Definition and Principle

a. Definition of the conductivity

The conductivity is a measure for the ion-activity in water or for the presence of dissociated molecules in an aqueous solution.

It is defined as a measure for the possibility of an aqueous suspension to carry an electrical current. Solutions of most inorganic acids, bases or salts are relatively good conductors. Organic substances, not dissociated in aqueous solutions, are weak conductors. The (electrical) conductivity of a solution is defined as the inverse of the resistance of the solution under the prescribed circumstances and is expressed in Siemens/cm or Siemens/m ($S = W^{-1}$).

The conductivity is depending on multiple which are:

- the kind of ions

- charge of the ions

- concentration of the ions

- temperature of the water

- viscosity of the water

The conductivity is strongly dependent on the temperature of the solution. The increase with increased temperature amounts more or less 1.9% per °C. The measured value has to be corrected, even with low differences in measuring temperature vs. reference temperature (25°C).

4. Utilisation

a. The controller and the digital gateway

The 3700sc Digital Conductivity Sensor can be used with either an sc100 or sc1000 controller.
When a sensor is connected and the controller is in measurement mode, the controller display will show the current conductivity reading plus the sample temperature. The display will flash on startup, when a sensor error has occurred, when the hold outputs function has been activated, and when a sensor is being calibrated. An active system warning will cause the warning icon (a triangle with an exclamation point inside) to be displayed on the right side of the display.

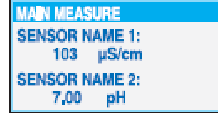
b. Important Key Presses

Press the HOME key then the RIGHT or LEFT key to display two readings when two sensors are connected. Continue to press the RIGHT or LEFT key to toggle through the available display options as shown below.

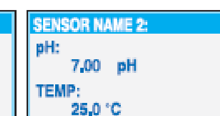




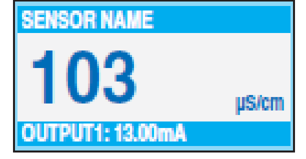






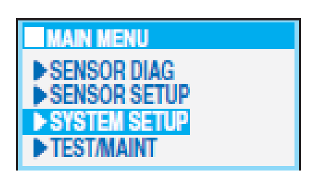


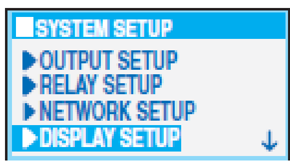
Press the UP and DOWN keys to toggle the status bar at the bottom of the measurement display to display the secondary measurement (temperature) and output information.

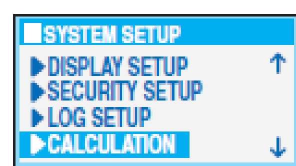


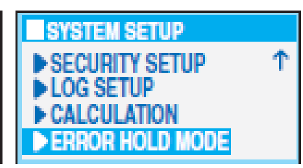


When in Menu mode, an arrow may appear on the right side of the display to indicate that more menus are available. Press the UP or DOWN key (corresponding to the arrow direction) to display additional menus.





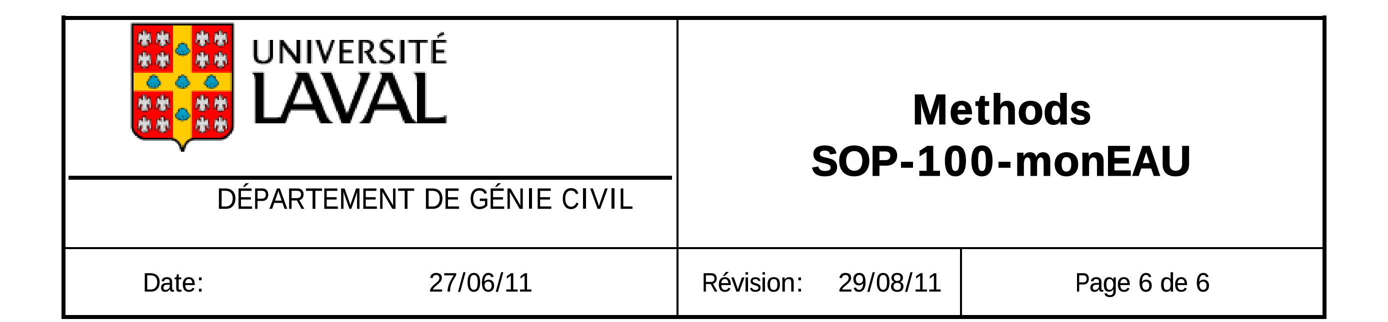




5. Calibration

If a calibration is necessary, calibrate the conductivity sensor by using a NaCl solution of 1000 µS/cm. It is important to always right down the date, the hour, the value before calibration, and the value of the standard solution that has been used for calibrate the sensors. You might wait for the values to stabilize before reporting them.

Refer to section 5.7 of the user manual for more information about the conductivity reference solution, the zero calibration, the sample calibration, the conductivity calibration and the current calibration for two sensors.



6. Cleaning the sensor

Clean the exterior of the sensor with a stream of clean water. If debris remains, use a wet cloth or brush.
The global cleaning process of all the sensors of the monEAU monitoring station is described in the SOP *Cleaning of the monEAU station sensors*.

Frequency of cleaning is determined by the Excel file *Entretien et suivi des capteurs* depending on how the fouling affects the sensors according to 2010 experience in situ. The sensor should be cleaned after a big raining event and every month in other cases.

Regarding specific questions on cleaning the conductivity sensor, one may refer to the instructions available in the user manual and in the cleaning SOP.

7. Références

- PUJADAS Maria, SOP-021 Determination of the electrical conductivity (EC). 23-02-2009
- Hach-3700sc Digital Conductivity Sensor User Manual, October 2006, Edition 4